

УДК 621.324

МЕТОД МОДИФІКАЦІЇ СУЗІР'Я ДЛЯ ЗНИЖЕННЯ ПІК-ФАКТОРА В OFDM СИГНАЛАХ**Орішко Р.В., магістрант; Головін В. А., к.т.н., доцент***Національний технічний університет України**"Київський політехнічний інститут", Київ*

OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) – це цифрова схема модуляції, яка використовує велику кількість близько розташованих ортогональних піднесучих. Основною перевагою OFDM сигналів є їх здатність протистояти складним умовам в каналі – боротись з вузькосмуговими завадами і частотно-вибірковим затуханням, викликаними багатопроменевим поширенням, без використання складних фільтрів-еквалайзерів. Також суттєвою перевагою є висока спектральна ефективність, внаслідок якої – висока швидкість передачі інформації. Загальний вигляд сигналу з OFDM:

$$s(t) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{k=0}^{N-1} \left\{ a_k \cdot \cos \left[2 \cdot \pi \left(f_0 + \frac{k}{T} \right) t \right] + b_k \cdot \sin \left[2 \cdot \pi \left(f_0 + \frac{k}{T} \right) t \right] \right\},$$

де T - тривалість тактового інтервалу; N - кількість несучих коливань; f_0 - частота несучої; a_k, b_k - дані синфазного та квадратурного каналів, якими модулюють піднесучу коливання з номером k . Недоліком OFDM є велике відношення пікової потужності сигналу до його середнього значення потужності – пік-фактор(ПФ).

$$ПФ = \frac{\max_{t \in [0; T]} \{|s(t)|^2\}}{\frac{1}{T} \int_0^T |s(t)|^2 dt}$$

Значний ПФ вимагає використання лінійних каскадів підсилення в передавачі, що приводить до збільшення витрат енергії в мобільних пристроях та зменшення часу їх роботи.

Основні методи, алгоритми зменшення ПФ розглянуті в [1, 2, 3, 4]. Ці методи мають свою складність, свої недоліки і переваги. Тому використання окремого методу залежить від характеристик сигналу, апаратури, що буде використовуватися, каналу зв'язку і інше.

Пропонується алгоритм (рис.1) активної модифікації модуляційного сузір'я для зменшення ПФ:

1. Для відліків s_n OFDM символу, сформованого в часовій області обчислюються відліки дельта-сигналу y_n за деяким законом $f(s_n)$. Закон виби-

рається таким, щоб зменшувати ПФ, якщо він більший за допустимий.

2. Формуються відліки ортогональних частот дельта-сигналу Y_k (шляхом FFT відліків часової області).

3. Дані частотні відліки Y_k віднімаються з певним коефіцієнтом впливу $K_{ВП}$ від частотних відліків S_k вихідного OFDM символу.

4. Отримані модифіковані відліки OFDM символу Z_k переводяться в часову область z_n – формується модифікований OFDM символ.

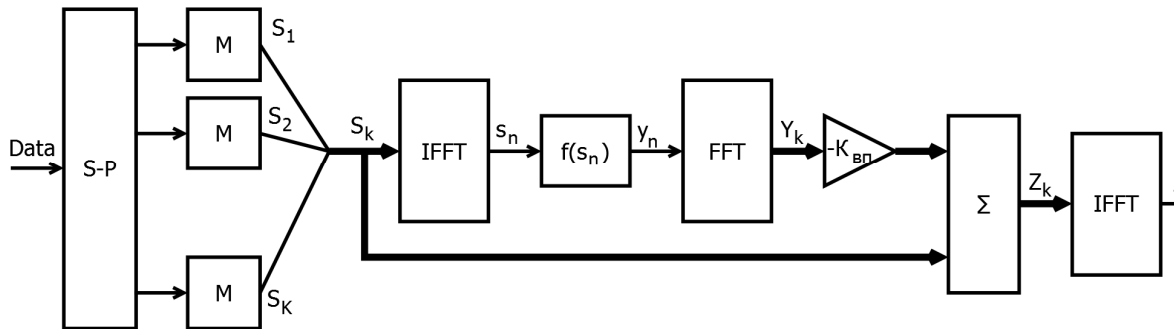


Рис.1. Схема алгоритму модифікації сузір'я. S-P – перетворювач послідовного потоку в паралельний. М – модулятор, IFFT – зворотнє швидке перетворення Фур'є, FFT – швидке перетворення Фур'є

Основною і дуже суттєвою перевагою даного методу є те, що зниження ПФ відбувається без розширення спектру, як в методі з амплітудним обмеженням [2], внаслідок формування передавачем абсолютно коректного OFDM сигналу без його подальших спотворень. Також перевагою є відсутність надлишковості як в методі кодування [3], тому передача ведеться на максимальній швидкості.

Недоліком методу є модифікація сузір'я, що приводить до зменшення відстані між сигналами і, відповідно, до погіршення Bit Error Rate (BER).

Доданок $-K_{ВП} \cdot Y_k$ – це модифікація символів модуляторів S_k , яке для демодуляторів приймача виглядає як адитивний шум. Потрібно оцінити рівень шуму в залежності від параметрів алгоритму.

Моделювання проведено в середовищі Mathcad з такими параметрами:

$$\text{закон формування дельта сигналу } f(s_n) = \begin{cases} 0, & |s_n| < A_{\text{пор}} \\ s_n - A_{\text{пор}}, & s_n > A_{\text{пор}} \\ s_n + A_{\text{пор}}, & s_n < -A_{\text{пор}} \end{cases}$$

де $A_{\text{пор}}$ – деякий поріг;

- кількість піднесучих – 512;
- кількість переданих біт – 1 000 000;
- види модуляції – QPSK, 16QAM, 64QAM.

Результати моделювання при $A_{\text{пор}} = \text{const} = 0,5 \cdot \max s_n$ і $K_{ВП} = \text{var}$ продемонстрували, що залежність пік-фактора від $K_{ВП}$ не однозначна, при

значному збільшенні $K_{\text{вп}}$ відбувається збільшення пік-фактора та BER.

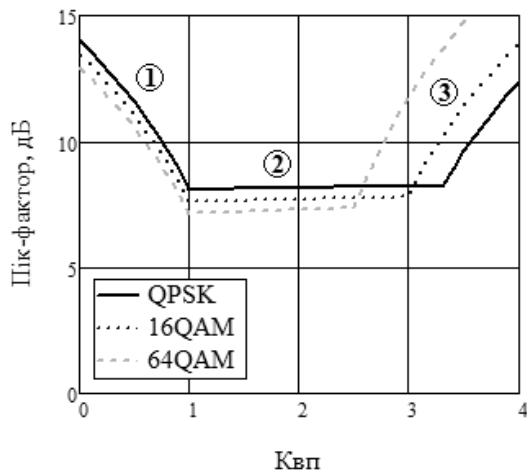


Рис. 2

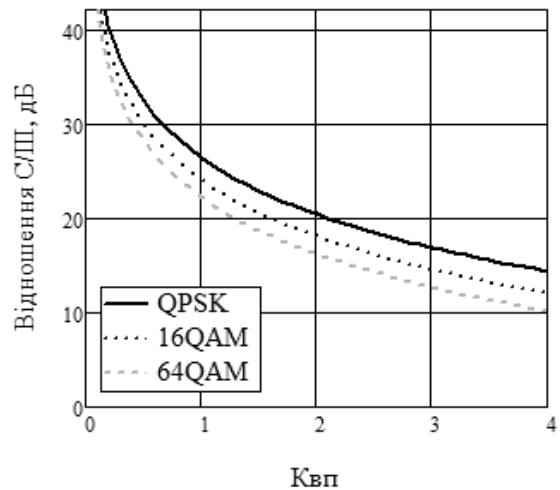


Рис. 3

На рис. 2 зображена залежність пік-фактора від $K_{\text{вп}}$. Перша ділянка спадання ПФ зумовлена зниженням пікової потужності сигналу. Друга ділянка – повільного росту ПФ – зниженням середньої потужності сигналу. Третя – зростанням піків внаслідок їх інвертування.

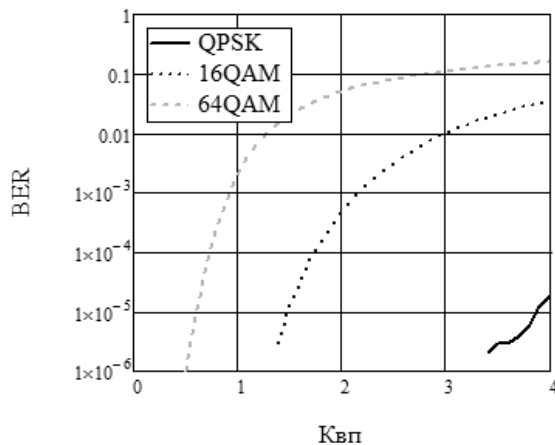


Рис. 4

На рис. 3 зображена залежність відношення С/Ш, в яке перерахована модифікація сузір'я модуляції, від $K_{\text{вп}}$. Очевидно, що потрібно працювати на першій ділянці рис.2, подальше зменшення С/Ш, а отже і збільшення BER (рис 4) нічим не виправдане.

Результати моделювання при $A_{\text{пор}} = \text{var}$ і $K_{\text{вп}} = \text{const} = 1$ показали, що при зменшенні рівня порогу отримується виграв у пік-

факторі (рис. 5), проте це веде до стрімкого спадання рівня С/Ш при малих значеннях порогу (рис.6). BER очевидно росте, оскільки залежить від С/Ш (рис. 7). На рис. 8 зображено ефективність способу, а саме залежність виграву по пік-фактору від BER. Графіки демонструють, що для модуляції QPSK можна досягнути зниження ПФ на 9,4 дБ без появи помилок передачі. Для 16QAM модуляції виграв менший внаслідок меншої відстані між символами сузір'я, а саме 6,5 дБ без появи помилок. Для 64QAM це значення рівне 4,1 дБ.

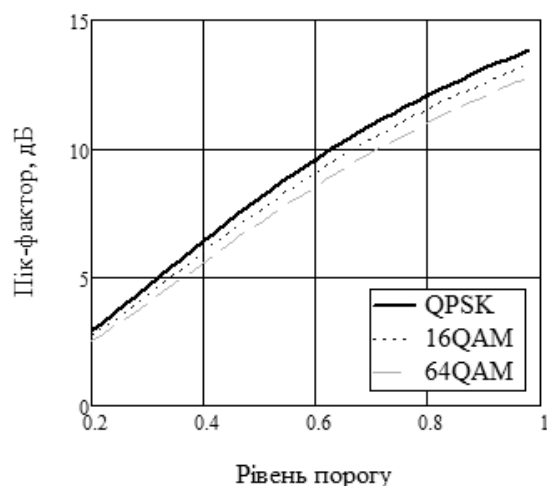


Рис. 5

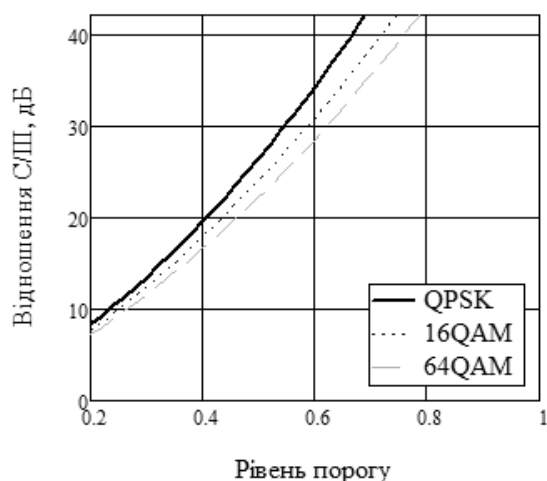


Рис. 6

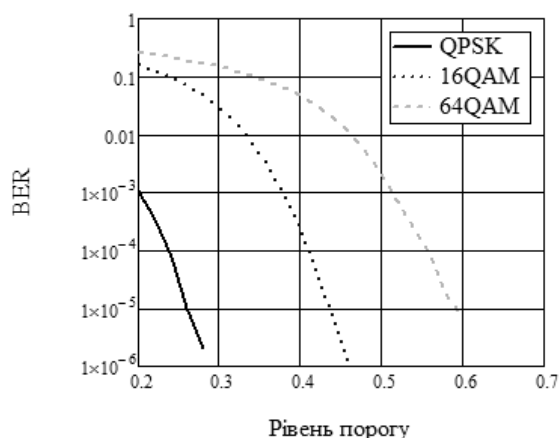


Рис. 7

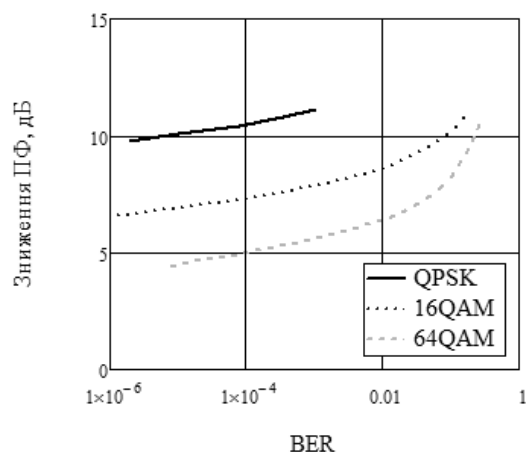


Рис. 8

Висновки

За допомогою запропонованого алгоритму можна зменшувати значення ПФ OFDM сигналів з динамічним контролем зменшення мінімальної відстані між сигналами сузір'я, кількості помилок передачі.

Література

1. Білоконь О.В., Головін В.А. Методи зменшення пік фактору в каналах з OFDM. Вісник Національного технічного Університету України "КПІ" 2009, №39
2. Xiaodong Li and Leonard J. Cimini, Jr.; "Effects of Clipping and Filtering on the Performance of OFDM", IEEE, 1997
3. Simon Shepherd, John Orriss, and Stephen Barton; "Asymptotic Limits in Peak

Envelope Power Reduction by Redundant Coding in Orthogonal Frequency-Division Multiplex Modulation”, IEEE Transactions on Communications, Vol. 46, No. 1, January 1998

4. Cristina Ciochina, Fabien Buda and Hikmet Sari. «An Analysis of OFDM Peak Power Reduction Techniques for WiMAX Systems»
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.131.9810&rep=rep1&type=pdf>

Орішко Р. В., Головін В. А. Метод модифікації сузір'я для зменшення пік-фактора в OFDM сигналах. Розглянуто реалізацію методу модифікації сузір'я для зменшення пік-фактора в OFDM сигналах. Основна ідея методу - це вибір функції сума якої з OFDM символом дає новий символ з меншим пік-фактором. Модифікація сигналу даною функцією проводиться на рівні модуляційного сузір'я піднесучих. Виконується пряме перетворення Фур'є вибраної функції, отримані значення спектральних складових функції сумуються з спектральними складовими сигналу та знову формується модифікований символ OFDM. Проаналізовано основні якості та можливості методу для вибраної функції модифікації та різних видів модуляції піднесучих. Отримані графіки залежності пікфактору від коефіцієнтів алгоритму та ефективності алгоритму.

Ключові слова: пік-фактор, BER, сузір'я.

Оришко Р. В., Головин В. А. Метод модификации созвездия для уменьшения пик-фактора в OFDM сигналах. Рассмотрено реализацию метода модификации созвездия для уменьшения пик-фактора в OFDM сигналах. Основная идея метода – выбор функции, сумма которой с OFDM символом дает новый символ с меньшим пик-фактором. Модификация сигнала данной функцией проводится на уровне модуляционного созвездия поднесущих. Выполняется прямое преобразование Фурье выбранной функции, полученные значения спектральных составляющих функции суммируются со спектральными составляющими сигнала и снова формируется модифицированный символ OFDM. Проанализировано основные качества и способности метода для выбранной функции модификации и разных методов модуляции поднесущих. Получены графики зависимости пик-фактора от коэффициентов алгоритма и эффективности алгоритма.

Ключевые слова: OFDM, пик-фактор, BER, созвездие.

Orishko R. V., Golovin V. A. Constellation Modification Method for OFDM Peak Power Reduction. Constellation modification method for OFDM peak power reduction is considered. Choosing function which sum with OFDM symbol gives new symbol with lower peak power is the main idea of method. Signal modification by means of this function carrying out at subcarriers modulation constellation domain. Fourier transform of given function is executing, values obtained for the spectral components are added to the spectral components of the signal and re-formed modified OFDM symbol. Main qualities and capabilities for given modification function and different subcarrier modulation methods is analyzed. Obtained plots of peak factor of the coefficients of the algorithm and the algorithm efficiency.

Keywords: OFDM, PARP, BER, constellation.